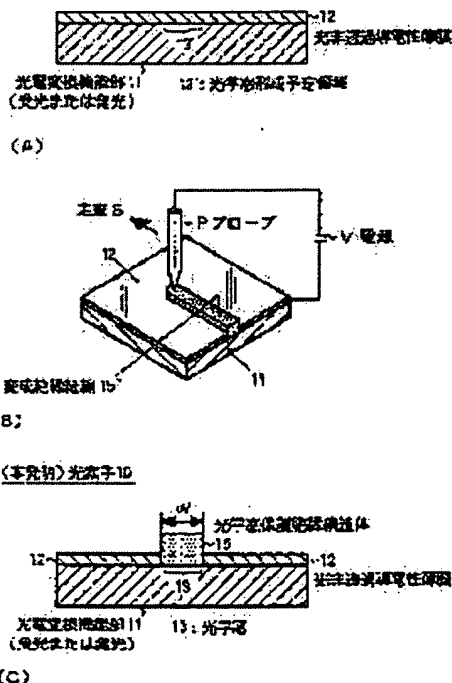


(11)Publication number : 08-204225
(43)Date of publication of application : 09.08.1996

H01L 31/108
H01L 31/02
H01L 33/00

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE & TECHNOL
(72)Inventor : ITAYA TARO
MATSUMOTO KAZUHIKO
ISHII MASAMI
NAKAGAWA ITARU
SUGIYAMA YOSHINOBU

CONSTITUTION: A nontransmissive conductive thin film 12 formed on one surface of a photoelectric conversion function section 11 is partially transformed to obtain a protective insulation structure 15 for optical window having predetermined width W. Consequently, an optical window 13 having defined region is formed on the surface of the photoelectric conversion function section 11 under the protective insulation structure 15 for optical window.



[Date of request for examination]	23.01.1995
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	2666888
[Date of registration]	27.06.1997
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	
[Date of extinction of right]	

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-204225

(43) 公開日 平成8年(1996)8月9日

(51) Int.Cl. ⁸ H 0 1 L 31/108 31/02 33/00	識別記号 A	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 31/ 10 31/ 02				C A
審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 8 頁)				

(21) 出願番号 特願平7-8082

(22) 出願日 平成7年(1995)1月23日

(71) 出願人 000001144

工業技術院長

東京都千代田区霞が関1丁目3番1号

(72) 発明者 板谷 太郎

茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術総合研究所内

(72) 発明者 松本 和彦

茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術総合研究所内

(72) 発明者 石井 正巳

茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技術院電子技術総合研究所内

(74) 指定代理人 工業技術院電子技術総合研究所長

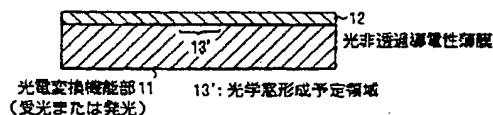
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光素子の製造方法

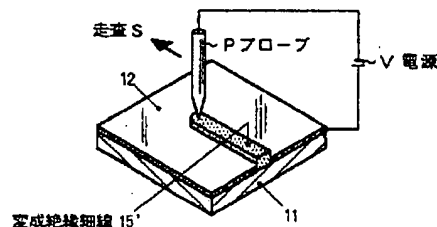
(57) 【要約】

【目的】 受光または発光を司る光電変換機能部の一表面上に所定幅の光学窓を形成し、その両側には光非透過導電性薄膜を形成する必要がある光素子を製造するに際し、光学窓の領域的な確定と同時に光学窓を保護する保護絶縁構造体を形成することにより、工程を簡略化する。

【構成】 光電変換機能部11の一表面上に形成された光非透過導電性薄膜12の一部の領域を変成して所定の幅Wと長さを有する光学窓保護絶縁構造体15を形成する。これにより、当該光学窓保護絶縁構造体15の下に光電変換機能部11の表面には領域の確定された光学窓13が形成される。

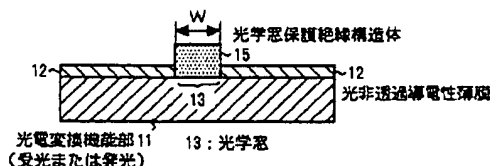


(A)



(B)

(本発明) 光素子 10



(C)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 発光または受光を司る光電変換機能部の一表面上に光非透過導電性薄膜を形成する工程と；該光非透過導電性薄膜の一部の領域を变成することにより、所定の幅と長さを有する光透過性の光学窓保護絶縁構造体を形成すると同時に、該形成される光学窓保護絶縁構造体の下の上記光電変換機能部の表面における光学窓の領域確定も行なう工程と；を含んで成る光素子の製造方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の製造方法であって；上記光非透過導電性薄膜は金属または合金であること；を特徴とする光素子の製造方法。

【請求項 3】 請求項 1 記載の製造方法であって；上記光非透過導電性薄膜は半導体であること；を特徴とする光素子の製造方法。

【請求項 4】 請求項 1 記載の製造方法であって；上記光非透過導電性薄膜は内部に半導体超格子構造を含むこと；を特徴とする光素子の製造方法。

【請求項 5】 請求項 1, 2, 3 または 4 記載の製造方法であって；上記変成は酸化であること；を特徴とする光素子の製造方法。

【請求項 6】 請求項 5 記載の製造方法であって；上記酸化は走査プローブ加工装置によりなされること；を特徴とする光素子の製造方法。

【請求項 7】 請求項 6 記載の製造方法であって；上記光非透過導電性薄膜において上記変成される上記一部の領域は、該光非透過導電性薄膜にあって互いに離間した複数個所にあること；を特徴とする光素子の製造方法。

【請求項 8】 請求項 1, 2, 3, 4, 5, 6 または 7 記載の製造方法であって；上記光電変換機能部は受光機能を司る光吸収部材であり；上記変成されなかった上記光非透過導電性薄膜部分は、上記光吸収部材に対し電圧を印加する電圧印加部材として機能し；上記光学窓保護絶縁構造体は該光吸収部材に光を導入する光ガイド部材として機能すること；を特徴とする光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は通信、情報処理分野において必要となる光素子、すなわち光信号を電気信号に変換する受光素子、あるいは逆に電気信号を光信号に変換する発光素子の製造方法上の改良に関する。

【0002】

【従来の技術】本書では、受光素子における光信号を電気信号に変換する機能も、また逆に発光素子における電気信号を光信号に変換する機能も、これらをまとめて共に「光電変換機能」と称するが、従来提供されている光素子の中には、図 6 に符号 50 によって示すような断面構造を必要とするものがある。すなわち、受光または発光を司る光電変換機能部 11 の一表面上の一部の所定面積領域が入射光を受けるか発光を出力する所定幅 W の光学窓

13 となっており、その両側に光非透過導電性薄膜 12, 12 が形成され、その上に一連に光学窓保護絶縁層 51 が設けられる。

【0003】例えば受光素子においてこのような構造の具体例を探すと、「IEEE Journal of QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 28, pp. 2358-2368, 1992」に開示された受光素子がある。これは一般に MSM (金属/半導体/金属) 型の受光素子と呼ばれ、光非透過導電性薄膜 12, 12 を一対の電圧印加部材 12, 12 として利用し、これらの間に適当な電圧を印加した状態で光学窓 13 に光が入射すると、光吸収部材として構成された光電変換機能部 11 中に励起キャリア (電子及び正孔) が発生し、正孔は相対的に負電位になる電圧印加部材 12 の方に、また電子は相対的に正電位になる電圧印加部材 12 の方にそれぞれ引き込まれ、これにより一対の電圧印加部材 12, 12 を介し光伝導電流 (光検出電流) が流れて、入射光のあったことが検出される。実際にも、上記文献にて開示されている素子では、パルス応答での出力半値全幅が 870fs と、それまでの従来素子に比せばかなりの高速動作が得られている。また、この文献中では保護絶縁膜 51 は開示されていないが、実用的な素子とするために従来の考え方に従いこうした保護絶縁膜 51 を形成しようとする、図 6 に示されたような構造となる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、従来、図 6 に示したような光素子を作製する場合、光電変換機能部 11 の上に形成した光非透過導電性薄膜 12 の所定面積領域を既存のリソグラフィ技術により除去し、光学窓 13 となる部分を露呈し、領域的に確定させた後、次の工程でスパッタリング等の全面蒸着法により、光学窓保護絶縁膜 51 を一連に形成していた。

【0005】しかし、スパッタリング等を行なう高真空蒸着装置は高価であり、これを採用しないで済めばそれに越したことはない。また、光学窓 13 の形成 (領域確定) のための光非透過導電性薄膜 12 のリソグラフィ工程と光学窓 13 を保護するための保護絶縁膜 51 の形成工程とは別の素工程であるが、これがもし、単一素工程で行なえたとしたら、それは光素子製造ライン上の大いなる簡略化に繋がる。

【0006】さらに、既存の微細加工技術では、電子ビーム露光技術等、従来においては比較的高精度な微細加工技術を適用しても、光非透過導電性薄膜 12 に開けられる開口の幅 W は 300nm 程度までであり、これ以下にまで微小な幅 W に光学窓 13 を精度良く形成することは極めて困難である。

【0007】素子特性的に見ても、全面蒸着における面内蒸着膜厚の不均一性により素子特性にばらつきが出たり、誘電体蒸着による高周波特性劣化の問題等もある。光学窓上に形成される絶縁膜の特性としても、光学窓が微細化して来るとその上に高耐圧、高品質なものを作る

のは難しい。

【0008】本発明は基本的にはこうした点に鑑みてなされたもので、光学窓の領域的な確定と、当該光学窓の表面を覆う保護部材との形成を同一の素工程で行ない得るような製造方法の提供を主たる目的とし、さらに望ましくは、上述した種々の欠点が解消されるか少なくとも緩和され、また要すれば従来よりも微細幅の光学窓をも形成し得るような製造方法を提供せんとするものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するため、

(a) 発光または受光を司る光電変換機能部の一表面上に光非透過導電性薄膜を形成する工程と；

(b) 光非透過導電性薄膜の一部の領域を変成することにより、所定の幅と長さを有する光透過性の光学窓保護絶縁構造体を形成すると同時に、当該形成される光学窓保護絶縁構造体の下の光電変換機能部表面における光学窓の領域確定も行なう工程と；

を含んで成る光素子の製造方法を提案する。

【0010】ここで、上記の光非透過導電性薄膜は、金属または合金であっても良いし、半導体（一般に半絶縁性と呼ばれるものも含む）であっても良い外、内部に半導体超格子構造を含むものであっても本発明の適用を受けることができる。

【0011】また、本発明の特定の態様としては、上記の光非透過導電性薄膜の変成は酸化であることを提案し、特にこの場合、当該酸化は走査プローブ加工装置によりなすことも提案する。

【0012】本発明のまた別な態様では、光非透過導電性薄膜において上記変成される一部の領域は、当該光非透過導電性薄膜にあって互いに離間した複数個所にあっても良い。

【0013】さらに、より下位の構成として、本発明では、

- ・上記の光電変換機能部は受光機能を司る光吸収部材であり、

- ・上記変成されなかった光非透過導電性薄膜部分は光吸収部材に対し電圧を印加する電圧印加部材として機能し、

- ・上記の光学窓保護絶縁構造体は光吸収部材に光を導入する光ガイド部材として機能すること、

を特徴とする光素子の製造方法も提案する。

【0014】なお、上記したいずれの態様の場合にも、本発明により形成される立体構造体としての光学窓保護絶縁構造体の厚さは、望ましくはその両側にあつて変成されずに残る光非透過導電性薄膜の厚さよりも厚くすると、当該変成されずに残る光非透過導電性薄膜を一对の電圧印加部材として利用する場合、それらの間の沿面距離を長くすることができるので、結果として絶縁破壊に

対する耐性を高めることができる。

【0015】

【実施例】図1には、本発明の光素子製造方法の基本的な実施例が示されている。図中において、既に図6に即し説明した従来素子50の各構成要素に付した符号は、理解をたやすくするため、本実施例中でも対応するものに同じく付している。また、後述する他の実施例においても、対応する構成要素には同じ符号を付す。

【0016】まず、図1(A)に示すように、受光または発光を司る光電変換機能部11の一表面上に一連に、光非透過性で導電性の薄膜12を形成する。ただし、光電変換機能部11の具体的な内部構成自体は本発明が直接に規定するものではなく、任意既存のデバイス構造原理に従って構築されたものであつて良い。既に説明した従来のM S M型受光素子のような場合には、この光電変換機能部11は光吸収部材として機能するが、物としては半絶縁性GaAs基板等、単なる半導体バルク基板であることもある。また、光非透過導電性薄膜12は適当なる金属（合金を含む）の外、半導体であっても良いし、デバイス構築上の必要から超格子構造を含む半導体等であっても良い。少なくとも受光素子であれば検出対象の光に対し、また発光素子であれば出力光に対し、透過性がないか極めて乏しく、しかし電気的には有意の導電性を有するものであれば、なべて本発明の適用対象とすることができる。

【0017】図1(A)に示す上記のような出発構造に対し、次いで図1(B)に示すように、最終的に光学窓を形成したい形成予定領域13'に対応する光非透過導電性薄膜12の一部の領域の物性を変成し、光透過性を有する

(すなわち検出対象または発光対象の光に対して透明であるか少なくとも半透明の)立体構造としての絶縁体を形成する。これには、望ましくは走査プローブ加工装置を利用した酸化処理がある。走査プローブ加工装置とは、トンネル顕微鏡(S T M : Scanning Tunnel Microscope)とか原子間力顕微鏡(A F M : Atomic Force Microscope)を試料加工装置として利用するもので、基板に相当する光電変換機能部11上に形成された光非透過導電性薄膜12に対し、例えばS T Mの走査プローブPの先端を近付け、電源Vにより当該プローブ先端と光非透過導電性薄膜12間に高電界を印加しながらプローブPを矢印Sで示すように相対走査すると、その軌跡に従い光非透過導電性薄膜12が電気化学反応によって変成、酸化され、光透過性を有する変成絶縁細線15'が形成される。本出願人においても、こうした手法により、GaAs上に最高分解能で18nm幅の酸化チタン細線の形成に成功している。A F Mを用いても同様の結果が得られる。なお、本発明には直接の関係はないが、A F Mの場合、加工対象薄膜は導電性薄膜に限定されない。

【0018】このようにして変成絶縁細線15'を所定の長さに形成し終えると、図1(C)に示すように、所定の

幅と長さを有する光透過性の立体構造体である光学窓保護絶縁構造体15の形成と、この構造体の下の光電変換機能部の表面における光学窓13の領域の確定とが同一の素工程で行なわれたことになる。従来におけるように、光学窓の形成素工程の後工程として、別途に光学窓を保護する保護膜を全面蒸着する必要はなくなり、工程の簡略化が果たされる。

【0019】また、本発明に従って作製された光素子10では、光学窓保護絶縁構造体15の両側にあつて変成されずに残った光非透過導電性薄膜12、12を一对の電圧印加部材として利用する場合、当該一对の電圧印加部材12、12間に光学窓保護絶縁構造体15が絶縁構造体として介在するため、沿面距離が長くなって絶縁破壊に対する耐性が高まる。もちろん、光学窓保護絶縁構造体15の厚みがある程度以上に厚い程にその絶縁能力も高まる。従って、従来と同程度の離間距離Wで良ければ一对の電圧印加部材12、12間にはより高い電圧を印加でき、逆に同じ程度の印加電圧であっても要すれば一对の電圧印加部材12、12間をもっと近付けることで光電変換機能部11の表面近傍における電界強度を高めることができる。これは、既述したMSM型受光素子の作製に本発明を適用した場合に極めて有利に働く。特に、光非透過導電性薄膜12の変成に走査プローブ加工装置を利用するならば、光学窓13の幅W（すなわち一对の電圧印加部材12、12間の離間距離W）は最高で十数nmにまで短縮でき、しかも、そのような状態でも同時に酸化形成される光学窓保護絶縁構造体15は特性の良好な高耐圧、高品質絶縁体となる。そこで、図2に即し、より具体的な実施例として、本発明の製造方法でMSM型受光素子を作製した場合につき説明する。

【0020】まず、図2(A)に示すように、光電変換機能部11に相当する光吸収部材11として半絶縁性GaAs基板11を選び、この上に、光非透過導電性薄膜12としてチタン薄膜12を蒸着した。このチタン薄膜12の所定部分の表面にSTMの走査プローブPを近付け、図2(B)に示すように大気環境下（すなわち水分を含む環境下）でプローブPとチタン薄膜12間に5Vの電位を印加し、トンネル電流を流しながら図面紙面と直交する走査方向に沿ってプローブSを相対走査した。このとき、プローブ走査速度は形成される酸化チタン細線15の幅が100nmになるようにした。ちなみに印加電圧や走査速度を調整することにより、形成される酸化チタンの幅や厚みをかなり自由に調整することができる。広幅の酸化チタン細線15を得たい場合には、横方向にプローブPをずらしながら繰返し走査を行なえば良い。

【0021】このようにして形成された酸化チタン細線15は、既述した光学窓保護絶縁構造体15となり、同時にその下に、光学窓（本図では幅狭なため、図面を簡明化する意味から符号を付していない）の領域が確定的に形成されると共に、その両側にあつて酸化されずに残った

チタン薄膜部分12、12は一对の電圧印加部材12、12となる。換言すると、この手法は、光学窓の領域確定のみならず、一对の電圧印加部材12、12とその間に設けられるべき光学窓保護絶縁構造体15とを一遍に作る合理的な手法とも言える。

【0022】この後、図2(C)に示す通り、必要に応じ外部回路と電氣的接続を取るのに便利のように、一对の電圧印加部材12、12の所望の面積部分上に例えばTi/Au取り付け電極14、14を形成する。さらに、実用的な素子とするために、図2(D)に示すように、電圧印加部材12、12と光学窓保護絶縁構造体15を含むストライプと平行に例えばTi/Au接地用電極14'、14'を形成する。各ストライプの幅と隣接するストライプ間の寸法は本試作素子ではそれぞれ5 μ mとした。これにより、一对の電圧印加部材12、12の一方に対してはバイアス電圧Vbを印加するバイアス線Lbを、他方の電圧印加部材12に対しては抵抗Rで模式的に示した負荷Rへの信号線Lrを接続することができ、その脇でシールド構造を形成する一对の接地用電極14'、14'にはそれぞれ接地線Leを接続することができる。

【0023】作製した試作素子の評価には電気光学サンプリング法を用いた。これは、被測定回路上に置かれた電気光学結晶中の電界変化に比例したレーザ光の偏光変化を検出することにより、電気信号をフェムト秒(fs)領域の時間分解能で計測し得る手法であるが、本試作素子10の評価には図3に示すような測定システムを構築した。

【0024】光源はアルゴンイオンレーザ21から入力光を受ける衝突モード同期(CPM: Colliding Pulse Mode-locked)色素レーザ22であつて、レーザ出力は約10mW、出力パルス幅は40fs、波長は620nmである。この波長620nmの光に対し、試作素子における酸化チタン製の光学窓保護絶縁構造体15は十分な透明性を示して光ガイド部材として機能し、かつ電氣的には満足な絶縁体である。CPM色素レーザ22の出力はビームスプリッタ23により9:1に分割し、前者を励起ビームIp、後者をサンプリングビームIsとして、励起ビームIpをサンプリングビームIs側との光路差調整用の可変遅延装置32に通した後、本発明素子の光学窓保護絶縁構造体15に入射させ、一方、サンプリングビームIsは偏光方向調整のための2/ λ 波長板24を介し偏光子25に入射させた後、電気光学(EO: Electro-Optical)プローブ31に入射させる。EOプローブ31は電気光学係数が35.8pm/VのLiTaO₃板で、試作受光素子側に接する結晶裏面には誘電体多層膜の反射コーティングが施され、大きさは縦300 μ m、横250 μ m、厚さ50 μ mである。また、このEOプローブ31の結晶方位とサンプリングビームIsの偏光方向は、ストライプ線路上における横方向電界に対して感度が最大になるように設定した。

【0025】EOプローブ31中へのしみ出し電界により

位相変調を受けて反射されたサンプリグビームIsはソレイユ・バビネ位相補償板26により位相補償を受けた後、偏光ビームスプリッタ27を介し一対の受光器28a, bにより強度変調に置き換えられて受光され、受光器出力は差動増幅器29を介した後、試作素子に印加すると同じ1MHzの周期でロックイン増幅器34によりロックイン検波される。

【0026】ロックイン増幅器34の出力に基づきプロットされた測定結果は図4に示されている。測定は試作素子10から70 μ m離れた地点で行なったが、電気パルスの半値全幅としては570fsを得るに成功した。これは3dB帯域として790GHzに相当し、この種の光導電型受光素子として、間違いなく現時点における世界最高速の値である。

【0027】以上のように、本発明に従うと、光学窓の領域確定と光学窓の保護用構造体の形成が単一素工程で同時に行なえるという基本的な効果に加え、例えば100nm程度というように、対象光波長以下の極めて微細な寸法の光学窓の形成とその上の高耐圧、高品質保護絶縁構造体15の形成とが可能になる。その結果、MSM型受光素子等では高速、高感度な素子を作製し得る。

【0028】すなわち、一対の電圧印加部材12、12間に規定される光学窓13の幅Wを検出対象の光の波長以下とすると、光吸収部材11に入射する光は近接光電界（エバネッセントな光電界）で表されることになり、光吸収部材11の表面近傍のみ、光電界強度が高くなって、入射光は光吸収部材11の当該表面近傍で吸収されることになる。そこで、本発明により高耐圧、高品質絶縁構造体15が設けられることにより一対の電圧印加部材12、12間に従来よりも大きな電圧を印加できるようになった素子においては、光の入射により光吸収部材11の表面近傍に発生した励起キャリア（電子及び正孔）は、電圧印加部材12、12に近いことで内部よりも高電界強度になっている表面電界により、電子は相対的に正電位側の電圧印加部材12に、また正孔は相対的に負電位側の電圧印加部材12に、それぞれ高速で引き抜かれるようになる。これは言い換えれば、従来よりも高速な光電変換動作（光検出動作）が可能であることを意味し、また、高電圧の印加により励起キャリアの寿命よりも高速に引き抜くことができるので、当該励起キャリア対の再結合の影響も低減することができ、これも高感度化、高出力化に寄与する。しかし、この効果を逆に言うと、従来素子における300nm程度よりも、検出対象の光の波長以下という限定の下で一対の電圧印加部材12、12間の離間距離Wをむしろ大きくしても、本発明素子では絶縁破壊の恐れが少ないので当該一対の電圧印加部材12、12間にはより大きな電圧を印加できるため、結果として従来素子より高速、高感度な受光素子を提供できるとも言える。そして、この場合には製造工程に係る負担が軽くなり、光学窓保護絶縁構造体15の形成に上記した走査プローブ加工法を援用し

ても良いことはもちろんである（例えば既述のように、プローブPの走査を横方向に少しずつしながら繰返すことで任意の広幅酸化線路を描くこともできる）が、そうでなく、他の選択酸化法等を利用することもできる。

【0029】図5は本発明の他の適用例を示している。説明するに、光非透過導電性薄膜12には、図示の場合は二つしか示していないが二つ以上の光学窓保護絶縁構造体15が本発明に従う変成処理で形成されている。このような構造を既述したMSM型受光素子に適用した場合、検出対象の光の波長以下の幅寸法を有する光学窓保護絶縁構造体15が複数個ある分、検出感度を上げることができる。もちろん、光学窓保護絶縁構造体15の数（ひいてはその下の光学窓の数）は任意である。

【0030】以上、本発明の幾つかの実施例に即し説明したが、本発明の要旨構成に即する限り、当業者にとって任意の改変は自由である。

【0031】

【発明の効果】本発明によると、受光または発光を司る光電変換機能部の一表面上の一部の所定面積領域が入射光を受けるか発光を出力する所定幅の光学窓となっており、その両側に光非透過導電性薄膜が形成される必要のある光素子を製造するに際し、当該光学窓の領域確定と光学窓の保護のための保護絶縁構造体の形成とが単一の素工程で行なうことができ、極めて合理的である。保護膜全面形成のための高価な高真空蒸着装置も不要になる。また、本発明の走査プローブ加工装置を用いる態様においては、要すれば検出対象の光の波長以下の幅寸法の光学窓とその保護絶縁のための高耐圧、高品質な構造体が同一素工程で形成し得るので、高電界印加による光励起キャリアの高速な引き抜きが可能となり、励起キャリアの再結合の影響も低減するため、高速かつ高感度な受光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明製造方法の基本的な一実施例の概略構成図である。

【図2】本発明製造方法に従いMSM型受光素子を作製する場合の工程群に関する説明図である。

【図3】図2の工程群によって試作された受光素子の測定システムの説明図である。

【図4】試作された本発明受光素子を測定した結果の説明図である。

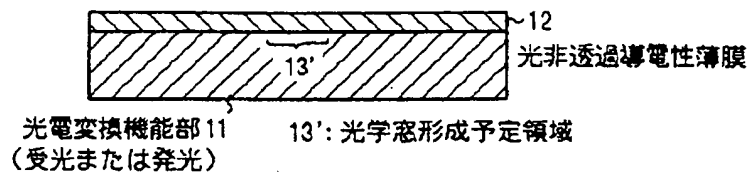
【図5】本発明により作製される他の光素子の概略構成図である。

【図6】従来における光素子の概略構成図である。

【符号の説明】

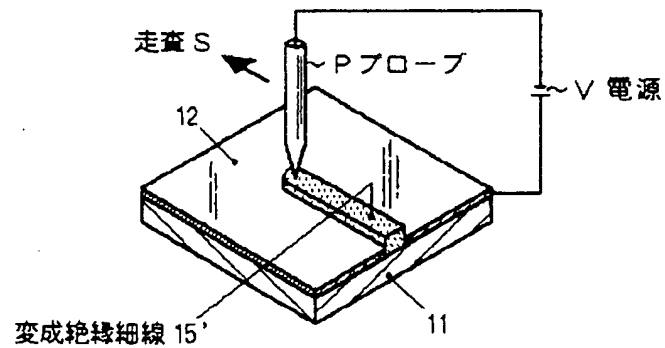
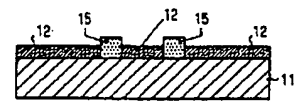
- 10 本発明に従って作製された光素子、
- 11 光電変換機能部（光吸収部材）、
- 12 光非透過導電性薄膜（電圧印加部材）、
- 13 光学窓、
- 15 光学窓保護絶縁構造体（光ガイド部材）。

【図1】



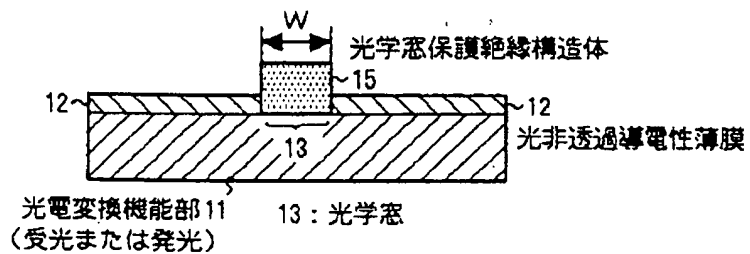
(A)

【図5】



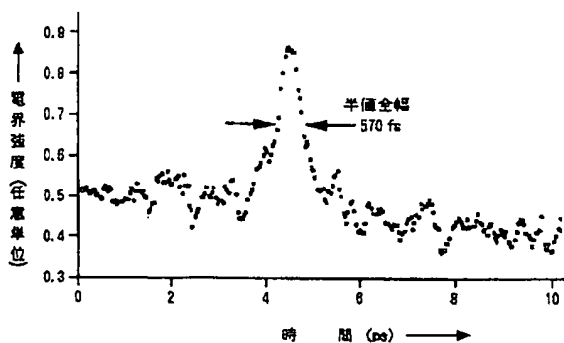
(B)

(本発明) 光素子10

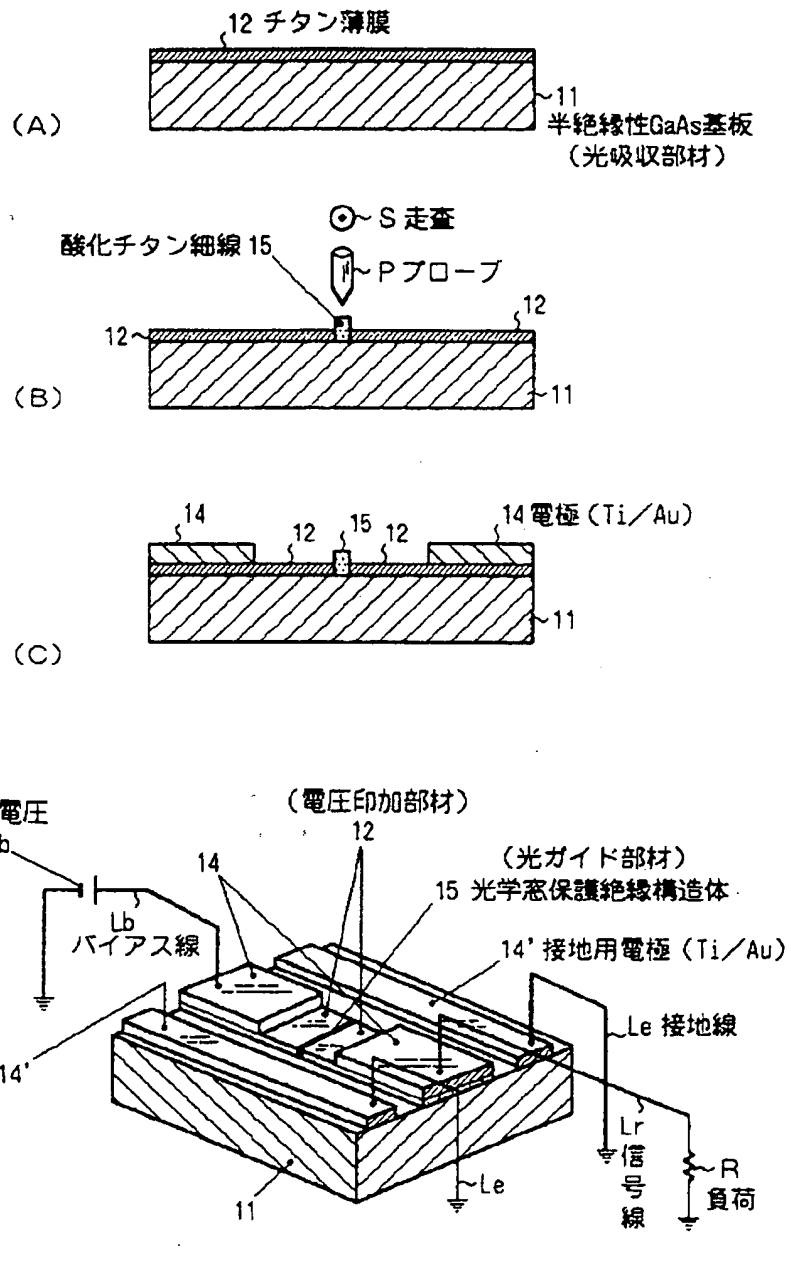


(C)

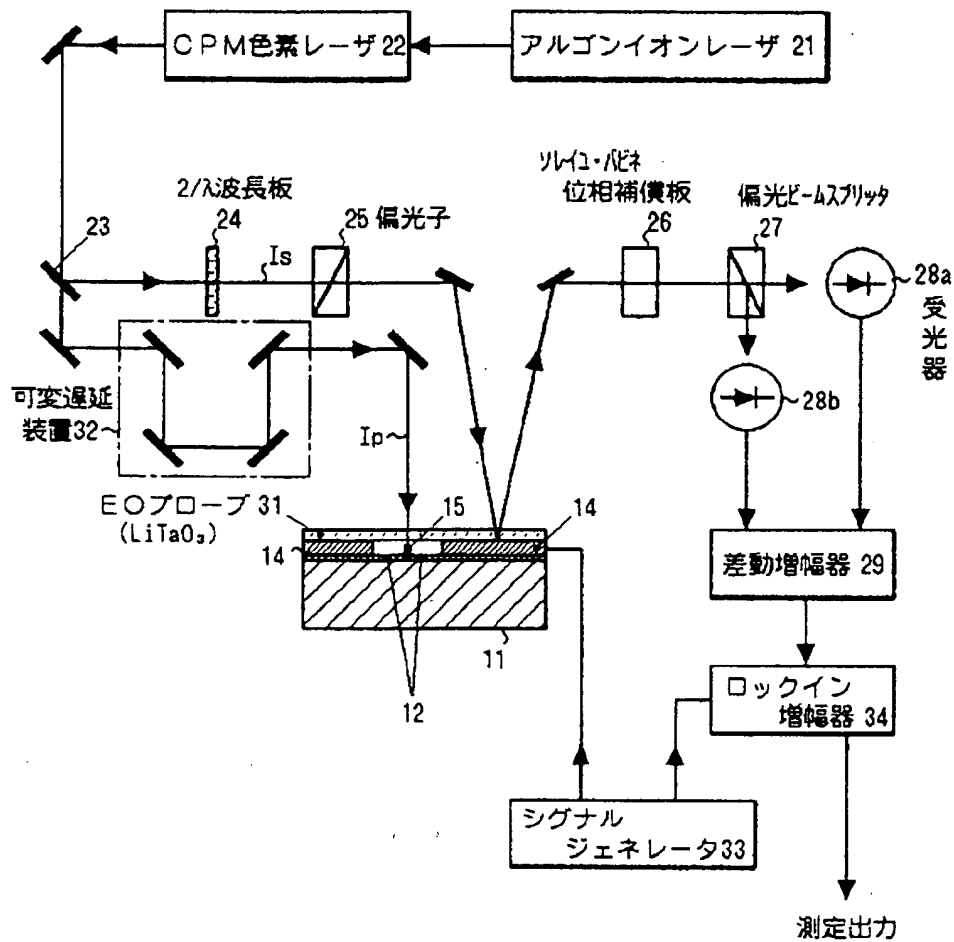
【図4】



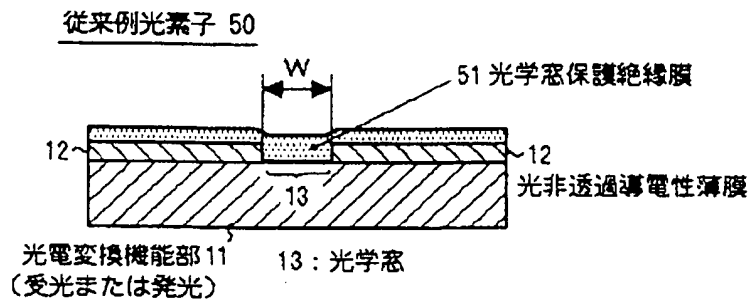
【図2】



【図 3】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 中川 格
 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技
 術院電子技術総合研究所内

(72)発明者 杉山 佳延
 茨城県つくば市梅園1丁目1番4 工業技
 術院電子技術総合研究所内